

Prefabricated bamboo structure and textile canvas pavilions

Mario Augusto Seixas ^{*}, José Luiz Mendes Ripper ^a,
Khosrow Ghavami ^b

^{*} Arts & Design Department, PUC-Rio, Brazil.
R. Marquês de São Vicente nº 225, Gávea, Rio de Janeiro, Brazil. CEP 22451-900
mario@bambutec.com.br

^a Arts & Design Department, PUC-Rio, Brazil. ripper@puc-rio.br

^b Civil Engineering Department, PUC-Rio, Brazil. ghavami@puc-rio.br

Abstract

According to the United Nations Environment Programme UNEP, the construction sector is one of the most polluting of the planet, consumes approximately 50% of global natural resources and accounts for 25 to 40% of energy consumption, 30 to 50% of solid waste generation and 30 to 40% of the emission of greenhouse gases. Working in an interdisciplinary approach in the areas of Industrial Design and Civil Engineering, the Catholic University of Rio de Janeiro PUC-Rio have been developing technologies for the production of healthy human settlements by using natural materials, the dissemination of potentially sustainable processes and the tripod of research-production-use on the physical and cultural environment. This article aims at the dissemination of a new typology for building *Ecopavilions* developed by the Bambutec company, formed by researchers and former students of the University, in partnership with PUC-Rio and with financial support from Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro FAPERJ. Produced in 2013 and first mounted in Rio de Janeiro, features a number of innovations to this kind of structures, performed on a temporary or permanent basis. The assembly engineering of *Ecopavilions* employs a prefabricated structural system modules armed on the ground and uplifted by a set of elevators powered by human strength. The invention is characterized by spatial trusses treated bamboo and benefit from composites of raw clay, natural fibers and castor oil polymers that ensure protection for weathering and durability of parts. The connections are eccentric, employing ropes and textile craft moorings. The roof uses hinged shells bamboo bars, covered and stabilized by tensioned textile canvas. The results obtained showed the properties of mounting and dismantling, using connections that minimize fatigue of the constituent parts, the ability of adaptability of the work, the compression for transport, storage and its deployment without the need for a construction site but a square mounting. The lightness and mobility of structural components, manufacturing techniques and materials employed favor the design of new forms for construction, the clean use of local installation, the formation of a new profile of skilled builders, resulting in agile execution little waste, little noise, low power consumption and low environmental impact.

Keywords: pavilions, bamboo, deployable structures, sustainable technologies, spatial trusses

Gentleman, how much do your buildings weight?
Buckminster Fuller

1. Introdução

A divisão internacional do trabalho vem tecendo modelos de desenvolvimento assimétricos em diversos lugares do mundo ao sabor do grande capital. Países são levados a competir entre si e dentro de seus próprios territórios, estados, cidades e pessoas competem por espaços e mercados, movidos por uma mais-valia cega. Ao passo que espaços dentro das cidades se modernizam e recebem investimentos financeiros, outros são deixados de lado, submetendo uma imensa parcela da população a viver em situação de miséria, marginalidade e abandono. A construção das cidades na atualidade está baseada em um modelo hegemônico de produção desigual do espaço, tornado globalizado, e está apoiada no uso indiscriminado de recursos naturais a exemplo da água, um bem essencial à vida e da pressão sobre as matérias-primas naturais, tais como as madeiras, o petróleo, o aço e demais recursos minerais, que nas últimas décadas assumiu protagonismo na crise ambiental planetária. A reprodução de cidades modernas que levou à construção de objetos gigantes, pesados, onerosos e poluentes, tais como as grandes usinas elétricas e as grandes metrópoles, desconsidera sistematicamente fatores ecológicos e humanos apesar de apoiada nestes, impondo formas padronizadas e técnicas que geram trabalhos de grande magnitude, mas ineficientes sob o aspecto energético, gerando um imenso desperdício de recursos, lançados na natureza em dissonância com os ciclos naturais gerando desperdício e lixo. A falta de uma abordagem sistêmica sobre a produção das cidades e a irresponsabilidade industrial vigente, vem gerando distorções sobre os territórios, irrompendo em situações de limite: catástrofes naturais, crises sociais e acidentes de diferentes grandezas. Concordamos com Milton Santos que "o endurecimento das cidades é paralelo à ampliação da intencionalidade na produção dos lugares, atribuindo-lhes valores específicos e mais precisos diante dos usos preestabelecidos. Esses lugares, que transmitem valor às atividades que aí se localizam, dão margem a uma nova modalidade de criação de escassez, e a uma nova segregação. Esse é o resultado final do exercício combinado da ciência e da técnica e do capital e do poder, na reprodução da cidade" (Santos [1]). A padronização deste modelo de urbanização baseado no consumo, na velocidade e nas técnicas massificadas para a habitação, tornam-se ameaças para o bem-estar social e a soberania cultural dos povos. Em um continente megabiológico como o latino-americano, com tantas formas vernaculares de vida, pode notar-se o empobrecimento das culturas autóctones e das técnicas populares de construção. A atual divisão social do trabalho nas grandes cidades segmenta quem pensa e projeta, quem produz e quem consome, fazendo prevalecer o valor de troca sobre o valor de uso, sendo uma das causas de alienação da população e uma das consequências da falta de significado diante da vida.

Na PUC-Rio, o Departamento de Artes & Design, o Departamento de Engenharia Civil, o Instituto Genesis e a Bambutec vem trabalhando transdisciplinarmente, recuperando saberes vernaculares, tais como a cestaria, o pau-a-pique, o adobe e o fibroso para construções a partir de técnicas convivenciais (Ripper [2]). A partir do estudo científico de materiais não-convencionais (Ghavami [3]) e de testes com modelos físicos experimentais, vem sendo empregado bambus, palmeiras, compósitos de terra crua, fibras naturais e resinas vegetais combinados mecanicamente com materiais industrializados, componentes em madeiras nativas, conexões metálicas, amarrações em cabos têxteis e demais soluções criativas em interação dinâmica com a cultura popular brasileira (Seixas [4]).

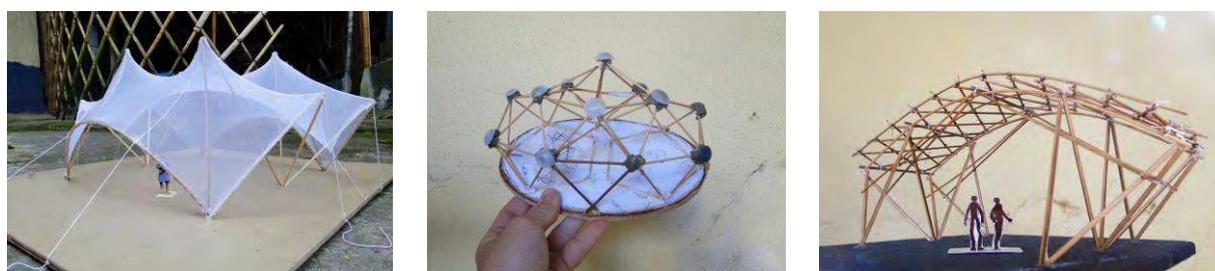
Esses objetos vêm sendo produzidos *just in time* de acordo com as demandas apresentadas a partir de processos de trabalho flexíveis em oficinas politécnicas e parques industriais locais. Na PUC-Rio, profissionais de diferentes áreas vem trabalhando em regime colaborativo, onde as etapas de projeto e execução são compartilhadas e distribuídas pelas equipes executoras, ampliando a consciência dos agentes envolvidos a partir de uma práxis integral sobre a rede de produção. Os projetos são realizados simultaneamente com tarefas construtivas, promovendo a troca de conhecimentos, a experimentação e a proposição prática de objetos que são fruto da convivência e que surgem de uma temática nativa (Moreira e Ripper [5]) imersa na realidade local.

Portanto, temos desenvolvido objetos territorializados que partem de uma perspectiva materialista, fabricados em séries limitadas e cuja organização física apresenta características estilísticas artesanais, permitindo inovações, ajustes durante a produção e uma abordagem holística sobre o uso destes objetos no meio cultural, particular da área das ciências sociais aplicadas, como é o caso do design industrial.

2. Materiais e métodos

2.1 Ensaios com modelos

A metodologia empregada partiu do trabalho com modelos físicos e de testes de engenharia com protótipos instalados no meio. Partimos das características físicas de um terreno pavimentado de 550 m² em uma encosta arborizada no bairro da Gávea, Rio de Janeiro, limítrofe ao Parque Nacional da Tijuca (Figura 6). O espaço foi projetado privilegiando espaços vazios, empregando um vão de 15 x 23 metros. Algumas das premissas intencionadas para o projeto foram: leveza, simplicidade de montagem, adaptabilidade da obra, montabilidade/desmontabilidade, baixo impacto ambiental, utilização de materiais naturais, tecnologias acessíveis e a sustentabilidade dos processos produtivos. Para a definição do projeto da estrutura do galpão desenvolvemos uma série de modelos experimentais realizados em ambiente de laboratório (Figuras 1 a 5).

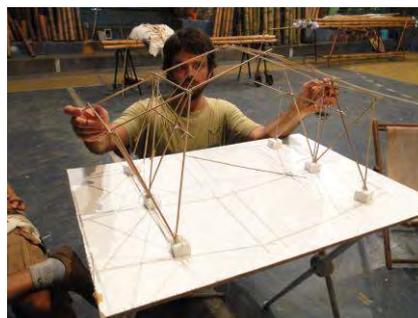


Figuras 1, 2 e 3: Modelos físicos experimentais para proposição da estrutura do galpão.

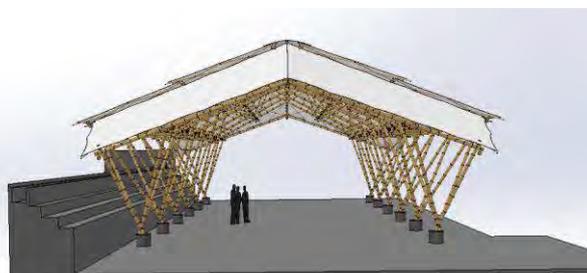


Figuras 4 e 5: Modelos autoportantes em 2 águas a partir de treliças espaciais e cascas nas escalas 1:5 e 1:50.
Figura 6: Terreno antes da implantação.

Os modelos empregando teto em formato de 2 águas apresentaram vantagens construtivas sobre os primeiros, pois além de um formato construtivo universal, vãos livres e pé direito apropriados para a utilização destinada ao galpão (construção de estruturas experimentais que demandam por espaços livres), apresentou grande potencial de montagem e desmontagem, diferenciando-o das demais construções similares existentes. Trata-se de uma construção extremamente leve feita a partir de materiais de origem vegetal combinados, gerando performance de uso, eficiência estrutural e economia no consumo de energia e biomassa. É uma arquitetura modular de baixo impacto ambiental, totalmente desmontável e que emprega estruturas espaciais de bambus com ligações amarradas por cabos têxteis, sem parafusos e pregos, que permite remontagens sem o desgaste dos elementos construtivos, podendo ser realizada em locais com poucos recursos, necessitando de baixo *input* de energia. A utilização de sistemas tensionados confere estabilidade à estes objetos, tornando as edificações robustas e leves. Consideramos as recomendações de Moreira e Ghavami [6] e Moreira [7] no dimensionamento das peças e elementos construtivos. Passamos para a pesquisa da engenharia de montagem da estrutura, análise e definição dos modelos construtivos empregados, detalhamento dos elementos estruturais, escolha dos materiais e sistematização dos processos. Para esta fase, novamente o trabalho com modelos físicos norteou o processo de projeto (Figuras 7 e 8). Em paralelo, foi construído o modelo 3D do Galpão em CAD (Figuras 9 a 10). O desenho do galpão e o sistema construtivo asseguraram estabilidade ao objeto devido ao padrão reticulado em todas as suas faces, prescindindo de fundações pesadas.



Figuras 7 e 8: Estudo da elevação da Nave principal da estrutura em 2 módulos denominados setor 1 e setor 2.



Figuras 9 e 10: Vistas do galpão no modelo computadorizado em CAD.

2.2. Ensaios com protótipos

No protótipo adotamos a utilização de formatos de peças de bambu padronizadas, considerando o fornecimento do material na plantação, a logística de transporte e a reprodutibilidade técnica do objeto. Empregamos na Nave principal peças de 4, 5, 6, 7 e 8 metros utilizando colmos de bambu com diâmetros entre 4, 10 e 12 centímetros das espécies *Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys pubescens*, popularmente conhecidos como cana-da-índia e bambu moso respectivamente, cultivados nos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo. A engenharia de montagem do galpão empregou um sistema basculante, que permitiu executar o maior número das etapas no solo, minimizando a demanda por trabalhos aéreos. Sua nave principal foi soerguida em 2 módulos independentes com o auxílio de um sistema de elevadores até ficarem em equilíbrio no solo, quando foram escoradas e estabilizadas para a montagem do módulo seguinte. Com a união da cumeeira, o treliçamento interno dos banzos pôde ser montado sob o abrigo da cobertura. Optamos pela construção modular da estrutura do galpão, dividida em Nave principal com 2 módulos componentes e Alpendres com 2 módulos componentes (Figuras 9 e 10), cada um deles subdividido em módulos menores, que receberiam placas de cobertura constituídas por cascas treliçadas tensionadas por lona têxtil de PVC e poliéster, produzidas utilizando moldes manufaturados e costura em solda eletrônica.



Figuras 11 e 12: Montagem e elevação do protótipo da Nave principal em 2 módulos: setor 1 sendo erguido utilizando sistema de elevadores com cabos a partir de pórticos de bambus e roldanas.

Para a cobertura foram desenvolvidos módulos construtivos de cascas reticuladas empregando pantográficas tensionadas por lonas têxteis, cuja infraestrutura utiliza uma malha de tubos de bambu conectados por ligações amarradas em cabos têxteis sintéticos. Os módulos são pré-fabricados, montados no solo e sobrepostos na estrutura. São autoportantes, leves e apropriados para o clima tropical (Figuras 13 a 15). A combinação dos módulos permite a passagem do ar e da iluminação natural. Cada módulo pesou em média 110 kg: 60 kg de bambus e cordas + 50 kg de lona têxtil.



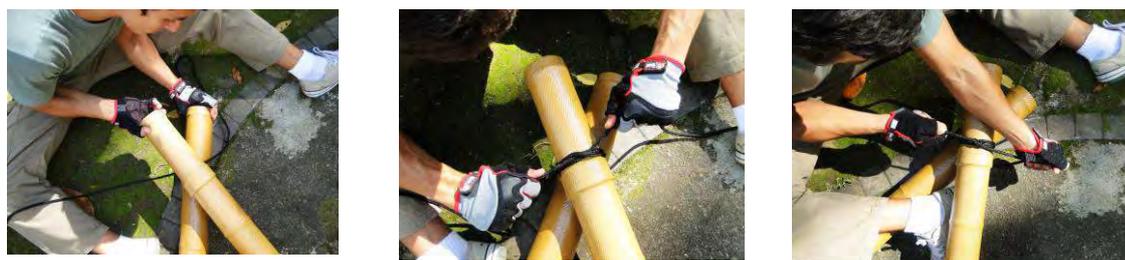
Figuras 13 e 14 – Fabricação de módulo de casca reticulada utilizando ligações amarradas.



Figura 15: Ensaio de montagem da casca reticulada com a lona têxtil modelada para verificação e ajuste das medidas definitivas de fabricação.

2.3. Estudo das ligações

Outro aspecto singular da edificação foi o emprego de ligações feitas artesanalmente utilizando amarrações em cabos têxteis de poliéster e polipropileno (Figuras 16 a 18). Partimos de conhecimentos vernaculares de construção em bambu no Oriente (Hidalgo-López [9], Dunkelberg [10]) e no Brasil (Ribeiro [11]), de amarrações tradicionais da cultura popular, tais como o *nó-direito*, a *volta do fiel*, o *lais de guia* (Jarman e Beavis [12]) e de experiências próprias na PUC-Rio e na UFMG (Moreira e Ripper [5]), que foram desdobradas em conexões adaptadas para a construção em bambu apresentando vantagens sob o ponto de vista estrutural, uma vez que não perfuram os tubos, preservam a integridade dos colmos e asseguram baixo desgaste mecânico durante as etapas de montagem, permitindo a articulação das peças (Figura 19). Apoiados em experiências anteriores desenvolvemos um repertório de amarrações tecnológicas empregadas em construções temporárias na Região Sudeste do Brasil e que foram aperfeiçoadas para a construção do galpão (Seixas [4]).



Figuras 16, 17 e 18: Ligação de colmos de bambu a partir da volta do fiel e do nó-direito.

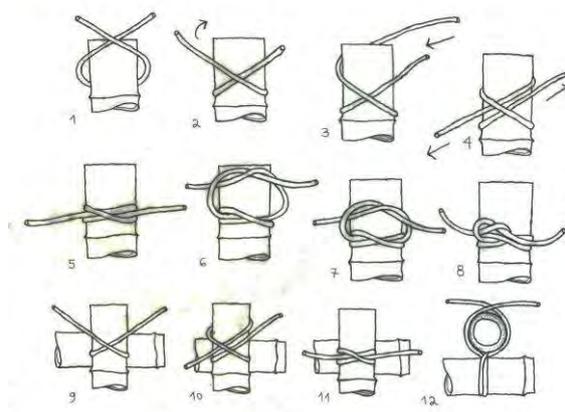


Figura 19: Passo a passo da amarração articulada de bambus a partir da volta do fiel e do nó direito.

2.4. Preparação dos colmos de bambu

Foi realizado um rigoroso trabalho de seleção e tratamento dos colmos na plantação, sem o emprego de preservativos químicos. Foram escolhidos bambus com mais de 5 anos de idade, secos à sombra e defumados em um forno, durante período de aproximadamente 48 horas, com calor gerado a partir das sobras do próprio bambu colhido como combustível. O material, após o tratamento, foi embalado e transportado. No ateliê, os colmos ficaram em espera, dispostos verticalmente em espaço coberto, durante período de 1 ano para a sua secagem completa (Fig. 20). Foram empregadas na obra 2 toneladas de bambu.



Figura 20 – Colmos de bambu secando no ateliê.

2.4.1. Encapsulamento dos colmos

A obra incorporou características vernaculares de coberturas no clima tropical onde as peças estruturais ficam protegidas do sol e da chuva, além do desenvolvimento de técnicas de encapsulamento para proteção e impermeabilização dos colmos. Sabe-se que a exposição do material *in natura* às intempéries e principalmente ao sol e à umidade, aceleram o desgaste das fibras e danificam o material entre 2 e 3 anos de uso. Na PUC-Rio, foram testadas uma série de soluções para viabilizar a exposição do bambu em caráter permanente através de corpos de prova, experimentos e protótipos. Elencamos 3 hipóteses de proteção testadas em laboratório, experimentadas em campo e posteriormente desenvolvidas para aplicação industrial. Consideramos a disposição das peças na obra separando-as em 4 grupos para testar diferentes soluções de proteção e verificar seu desempenho sob exposição prolongada. As categorias foram definidas de acordo com a localização na estrutura e o grau de exposição de cada peça:

Grupo 1 (Figura 21 e 22 em **amarelo**): Pilares, banzos superiores e peças dos alpendres – Encapsulamento empregando compósito a partir de malha tubular de algodão, terra crua, argila, cola PVA e polímero de poliuretano de mamona.

Grupo 2 (Figuras 13 e 14): Casca treliçada do teto – Proteção empregando tinta acrílica.

Grupo 3 (Figura 21 em **verde**): Banzos inferiores, terças, barrotes, pontaletes e peças internas da treliça espacial – Proteção empregando verniz marítimo.

Grupo 4 (Figura 21 em **rosa**): Balizas horizontais – Utilização de peças defumadas e secas sem proteção adicional.

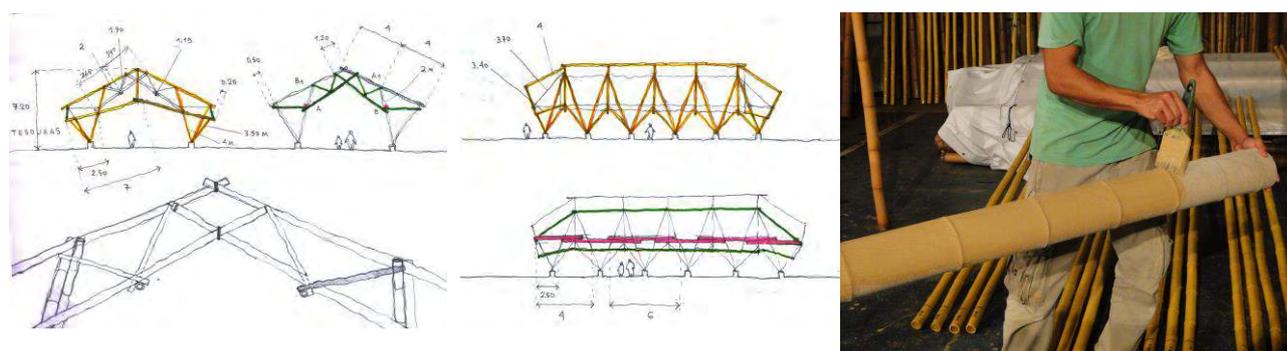


Figura 21 – Grupos 1, 3 e 4.

Figura 22 – Encapsulamento dos colmos de bambu.

2.5. Engenharia de montagem

O galpão foi montado em 30 dias de trabalho. A estrutura foi pré-fabricada e empregou peças padronizadas em uma montagem baseada em sistemas tensionados, encaixes e amarrações em cabos têxteis, sem a utilização de pregos ou parafusos. A construção pesou ao todo 8,5 toneladas, aproximadamente 25 kg por m², distribuídas da seguinte forma: 6 toneladas de ancoragens, 2 toneladas de bambus tratados e 500 kg de lonas têxteis e aviamentos. O método de montagem desenvolvido foi previsível, aproveitando as características físicas do terreno, minimizando a demanda por espaços operacionais no entorno e por canteiro de obras, otimizando o espaço disponível para a construção, sem a necessidade de equipamentos pesados e dispendiosos.



Figuras 23 e 24 – Materiais componentes da estrutura do galpão, com exceção das fundações. Estrutura desmontada, em módulos compactos pesando um total de 2,5 toneladas.



Figura 25 – Início da montagem da estrutura a partir das cascas reticuladas pantográficas armadas no solo.
Figura 26 – Manipulação do módulo de casca reticulada e lona têxtil tensionada.



Figura 27 – Montagem da estrutura do setor 1 da Nave principal.
Figura 28 – Sobreposição de casca reticulada sobre a estrutura do setor 1 no solo.



Figuras 29 e 30 – Elevação e escoramento do setor 1 pesando 950kg empregando pórticos treliçados e sistema de elevação com roldanas e cabos.



Figuras 31 e 32 – Elevação do setor 2 pesando 950kg empregando pórticos treliçados e sistema de elevação com roldanas e cabos acoplado ao setor 1.



Figura 33 – O setor 2 é pré-escorado e com a ajuda de um andaime móvel em bambu desacopla-se o sistema de elevadores para a continuidade da elevação.

Figura 34 – Posicionamento e tensionamento da lona têxtil de vedação da cumeeira do galpão.



Figuras 35 e 36 – Rotulação dos banzos inferiores dos pórticos para o seu posicionamento definitivo e fixação das treliças espaciais.



Figura 37 – Montagem da casca treliçada pantográfica no solo para cobertura dos alpendres.

Figura 48 – Elevação da casca treliçada suspensa na estrutura dos alpendres.



Figura 39 – Cobertura de 345 m² (23 x 15m) e vão livre de 230 m² (23 x 10 m): vãos de 4 metros entre as sapatas no sentido longitudinal e vão livre de 10 metros no sentido transversal.



Figura 40 – Vista interna do Galpão com largura de 15 metros e vão livre de 10 metros.



Figura 41 – Detalhe da treliça espacial, da casca reticulada e do teto em lona têxtil tensionada.

5. Considerações finais

A obra foi concluída no mês de Setembro de 2013 e vem apresentando bom desempenho no meio físico. Foram comprovadas as propriedades de mobilidade, montabilidade e desmontabilidade do *Ecogalpão*, empregando um método de construção com um amplo campo de aplicação social. Trata-se de uma inovação radical que introduz um novo sistema construtivo para galpões e estruturas leves de cobertura. A instalação da obra em um terreno limítrofe à Floresta da Tijuca no Rio de Janeiro vem promovendo importantes informações referentes à usabilidade, adaptabilidade e exposição dos materiais aos fatores climáticos externos: insolação, umidade, pluviosidade, performance mecânica no decorrer do tempo, em condições climáticas extremas (tempestades tropicais e vendavais), onde será possível acompanhar o desgaste das fibras, mensurando a durabilidade dos materiais e das técnicas empregadas. Privilegiamos o uso de materiais de construção renováveis (bambu, fibras vegetais, terra crua, argilas e polímeros naturais), biodegradáveis e sem o uso de preservativos químicos, todos de baixo impacto ambiental e produzidos localmente dentro de um raio de 400 km. Foram

empregados elementos construtivos pré-fabricados, instalados sem o uso de maquinário elétrico no lugar e com simplicidade de recursos técnicos. A montagem foi silenciosa e de baixo residual, sem gerar poeira, totalmente desmontável, transportável e passível de remontagem em outro local.

Constatamos o potencial de sustentabilidade nos processos de fabricação dos bambus das espécies *Phyllostachys pubescens* e *Phyllostachys aurea* que aliam as características de leveza, resistência e trabalhabilidade. Seu tratamento por defumação e encapsulamento são limpos, sem a geração de resíduos poluentes. O compósito desenvolvido ofereceu proteção ao material, principalmente à umidade, e ao mesmo tempo a propriedade de troca de ar com o ambiente. Além da película de fibras de algodão, terra crua e cola PVA, o polímero de mamona empregado foi formulado quimicamente com 2% de moléculas abertas permitindo a secagem natural do bambu, mesmo após a sua fabricação, devido à capacidade de troca de ar com o meio por diferencial de pressão, ou seja, é um tratamento onde o material respira. Mostrou-se apropriado para construção em bambu, uma vez que seus colmos continuam produzindo amido mesmo após o corte e extração do bambuzal. Para um melhor desempenho mecânico é indicado que os colmos sejam secos, encapsulados e impermeabilizados, mantendo índices internos de umidade entre 8 e 15% de acordo com o clima.

O sistema construtivo proposto partiu do trabalho interdisciplinar entre as áreas do Design Industrial e da Engenharia de Estruturas, onde as experiências com modelos físicos precedem a análise estrutural, envolvendo primeiramente investidas sobre o objeto e ações em sua materialidade. Os estudos de viabilidade da obra foram norteados por tais modelos, que apenas após a fase de protótipo puderam ser analisados matematicamente, e que serão objeto de um próximo trabalho técnico-científico. Essa parceria vem gerando objetos seguros e ajustados ao meio, a partir de técnicas de fabricação acessíveis e com bom desempenho estrutural, promovendo novas soluções para o desenho de produtos e para a construção civil, contribuindo para a formação de uma nova tipologia de objetos arquitetônicos do gênero.

Como desdobramentos, sugerimos a realização de vedações laterais a partir de painéis modulares autoportantes e auto tensionados. Recomendamos o monitoramento dos próximos *Ecogalpões* a serem instalados em diferentes condições geográficas para a elaboração de mapas informacionais referentes a oscilações, vibrações e deslocamentos dos elementos estruturais expostos em ambientes distintos, com a cooperação técnica entre a PUC-Rio, a Escola de Engenharia da UFMG e a Bambutec, ampliando o conhecimento do uso deste tipo construtivo, testando a adaptabilidade da obra e o controle sobre as conexões empregadas. Recomendamos a realização de outros galpões, prevendo novos detalhamentos, entre eles a simplificação de elementos estruturais componentes e o aprimoramento das ligações entre as colunas de bambu e as ancoragens, aumentando a eficiência da estrutura e o acoplamento mecânico ao solo, mantendo a utilização de âncoras e os princípios de mobilidade e leveza, desenvolvidos no âmbito deste projeto, que inauguram uma nova forma de uso do solo para construções autoportantes.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ pelo financiamento do projeto de pesquisa "Galpão de bambu e lonas têxteis utilizando tecnologias sustentáveis", do Programa de Apoio a Projetos de Inovação Tecnológica ADT, processo nº E-26/190.011/2012 e à PUC-Rio pelo apoio continuado ao projeto.

Nossos agradecimentos à equipe de projetistas da Bambutec Design¹, composta pelo primeiro autor deste artigo, por João Bina Machado Neto e Patrick Lopes Stoffel, responsáveis pelas atividades de pesquisa, desenvolvimento, projeto, organização e execução da obra.

Nossos agradecimentos ao Prof. Luís Eustáquio Moreira da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG pela supervisão técnica do projeto e ao Prof. Luís Vicente Barros do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio pelos desenhos da *volta do fiel* e do *nó-direito*.

¹ Empresa de design e arquitetura do Rio de Janeiro, parceira da PUC-Rio no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e proponente do projeto aprovado pela FAPERJ.

Referências Bibliográficas

- [10] Dunkelberg, K.; Drüsedau, H.; Hennicke, J.; GaB, S. **IL 31 Bambus Bamboo**. Stuttgart: Karl Krämer Verlag Stuttgart, 2005.
- [8] Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- [3] Ghavami, K. ; Marinho, A. B.; Cruz, M. L. S. **Analisis de las propiedades mecanicas de tallos interos de bambu**. Madrid – Espanha: Ingeniería Civil, v. 132, p. 119-126, 2003.
- [9] Hidalgo-López, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Bogotá: Oscar Hidalgo-López Editor, 2003.
- [12] Jarman, C.; Beavis, B. **Marinharia e trabalhos em cabos: fibras naturais e sintéticas**. Rio de Janeiro: Edições Marítimas e Ed. Vozes, 1983.
- [5] Moreira, L. E. ; Ripper, J. L. M. **Jogo das Formas: A lógica do Objeto Natural**. Rio de Janeiro: Editora Trarepa, 2013.
- [6] Moreira, L. E. ; Ghavami, K. **Dimensionamento de Estruturas de Bambu**. In: Romildo Dias Toledo Filho. (Org.). Campina Grande: Materiais não-convencionais para Construção Rural, Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- [7] Moreira, L. E. **Aspectos singulares das treliças de bambu – flambagem e conexões**. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, 1998.
- [11] Ribeiro, Berta (org.); Ribeiro, Darcy (editor). **Suma etnológica brasileira. Edição atualizada do Handbook of South American Indians. Volume 2: Tecnologia indígena**. Petrópolis: Ed. Vozes, 1987.
- [2] Ripper, J. L. M.; Moreira, L. E. **Métodos de ensino de design de produtos e sua aplicação às estruturas de engenharia civil**. In: COBENGE - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004. Brasília: COBENGE 2004, 2004.
- [1] Santos, Milton. **A Natureza do Espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- [4] Seixas, M. A. **Inserção social de arquiteturas temporárias de bambus e lonas têxteis utilizando tecnologias não-convencionais**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, 2009.

Referências Eletrônicas

ABMTENC. <http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br>

Bambutec Design. <http://www.bambutec.com.br>

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. <http://www.faperj.br>

Kenneth Snelson. <http://kennethsnelson.net>

Copyright © 2014 by the author(s).

Published by the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) with permission.